



TITLE:

Substance flow analysis of rare earth elements and precious metals from end-of-life vehicles including next-generation vehicles(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

Xu, Guochang

CITATION:

Xu, Guochang. Substance flow analysis of rare earth elements and precious metals from end-of-life vehicles including next-generation vehicles. 京都大学, 2019, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2019-07-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k22011>

RIGHT:

京都大学	博士（工学）	氏名	徐 国暢
論文題目	Substance flow analysis of rare earth elements and precious metals from end-of-life vehicles including next-generation vehicles （次世代自動車を含む使用済み自動車からの希土類元素と貴金属の物質フロー分析）		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>世界の自動車保有量は 2015 年時点で約 13 億台にまで増加し、使用済自動車もまた増加傾向にある。この自動車には鉄や銅といったベースメタルに加え、レアメタルをはじめとする多様な希少資源が含まれている。また、日本では 2017 年の次世代車の保有台数は 840 万台になり、国内保有台数の約 1 割を占めるようになった。こうした次世代車の普及も勘案すると、希少資源の需要は今後ますます高まることが予想される。一方で、現状のリサイクルシステムにおける廃棄段階では相当量が回収・リサイクルされずに埋立等に流出していることが懸念され、将来の廃棄段階への流入量を見通すとともに、こうした希少資源を循環利用するリサイクルシステムの構築が望まれる。本研究は希少資源としてレアアース（Rare Earth Elements, REEs）ならびに貴金属に着目し、自動車 1 台当たりの含有量を推定した。そして、次世代車の普及状況を考慮しつつ、REEs、貴金属それぞれについて現状フロー、中長期のリサイクルポテンシャルを推計した研究成果を 5 章にまとめている。</p> <p>第 1 章は、研究背景として自動車・使用済自動車の先行研究動向と課題についてまとめ、本研究の目的と論文構成を述べている。</p> <p>第 2 章では、ハイブリッド自動車 1 台、電気自動車 1 台を含む計 6 台の使用済自動車を対象とした解体調査によって自動車部品を部品別・素材別に計量し、また回収した自動車部品を化学分析にかけることで、部品中の希少金属の含有濃度を定量化し、部品重量を乗じることで含有量を推定している。電子基板は普通乗用車に 0.74－4.1 kg 使用されていたのに対し、ハイブリッド自動車は 3.8 kg、電気自動車は 7.9 kg 使用されており、次世代車ほど電装化が進んでいること、より多様な元素が含有されていることを明らかにした。例えば、ハイブリッド自動車には 3100 g、電気自動車は 710 g の REEs が使用されており、二次電池や駆動モーター等の次世代車特有部品の影響が大きかった。このように使用済自動車を実際に解体し自動車部品を化学分析にかけることは容易なことではなく、貴重な一次データを得ることができている。</p>			

第3章では、REEsを対象に2030年までの動的フロー分析を行い、開発中のものを含む既存の回収技術をレビューした上で回収効率を考慮した回収シナリオを設定し、その回収可能量を推定している。使用済自動車中のREEsは2010年130 tから2030年には3400 tにまで急増し、そのうち2700 (±500) tがニッケル水素電池とモーター磁石から回収できると推定された。また、2030年にはELVsから回収できるDyの量が国内需要量の23%、Ndの量は自動車用ネオジム磁石、ニッケル水素電池需要の49%を満たすことができるかと試算している。このような知見は、使用済自動車、特に次世代車特有部品が今後貴重な二次資源となりうること、したがって次世代車特有部品のリサイクルシステム構築、リサイクル技術の確立が重要であることを示唆している。

第4章では、貴金属を対象に2040年までの動的フロー分析を行い、現在のフローを明らかにするとともに、2040年の貴金属含有部品回収シナリオを設定し、その回収可能量を推定している。使用済自動車は2.2–5.9 gの貴金属を含有していると推定され、1年間に発生する使用済自動車中の貴金属含有量は2015年から2040年の変動は小さく、14–15 tと推定された。2015年のフローでは14.8 tの貴金属のうち33–53%が国内でリユース部品中に含有もしくは資源としてリサイクル（精錬）されており、特に触媒からのリサイクルの寄与が大きいことが明らかになった。一方で、2040年には、より次世代車特有部品の寄与が増大すると推定され、たとえば電子基板では回収可能量1.9–2.5 tのうち41%を次世代車特有部品が占めた。また、解体段階での部品回収率を高めることで、2040年には最大62–83%の貴金属が回収可能と推定された。

第5章は、結論であり、本論文で得られた成果について要約している。また、今後の研究の展望として、実際の解体調査を通じた地道なデータの蓄積を継続していくこと、解体業者や破砕業者へのヒアリング等によって、自動車部品や含有元素の国内外へのフロー把握の精緻化に努めることなどを挙げている。

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、使用済自動車由来の希少資源の使用実態の把握と現在から将来のフロー・資源回収可能性を明らかにすることを目的として、使用済自動車の解体調査から得た一次データを活用して REEs ならびに貴金属を対象に現在・将来の回収可能量を推定した。

その研究成果の概要は以下のとおりである。

1. ハイブリッド自動車 1 台、電気自動車 1 台を含む計 6 台の使用済自動車を対象とした解体調査を行い、自動車 1 台あたりの元素含有量を明らかにした。電子基板は普通乗用車に 0.74–4.1 kg 使用されていたのに対し、ハイブリッド自動車には 3.8 kg、電気自動車には 7.9 kg 使用されているなど、次世代車ほど電装化が進んでいることを明らかにした。また、多様な元素が含有されていることも明らかにされ、REEs はハイブリッド自動車に 3100 g、電気自動車に 710 g 含有されており、二次電池や駆動モータ等の次世代車特有部品の影響が大きかった。

2. REEs を対象に 2030 年までの動的フロー分析を行い、REEs の回収シナリオを設定して回収可能量を推定した。使用済自動車中の REEs は 2010 年 130 t から 2030 年には 3400 t にまで急増し、REEs リサイクル技術の回収効率を考慮すると、そのうち 2700 t がニッケル水素電池とモーター磁石から回収できると推定された。また、2030 年には ELVs から回収できる Dy が国内需要量の 23%、Nd は自動車用ネオジム磁石、ニッケル水素電池需要の 49% を満たすことができると試算した。

3. 使用済自動車には 2.2–5.9 g の貴金属を含有していると推定された。貴金属を対象に 2040 年までの動的フロー分析から、1 年間に発生する使用済自動車中の貴金属含有量は 2015 年から 2040 年の変動は小さく、14–15 t と推定された。2015 年のフローでは 14.8 t の貴金属のうち 33–53% が国内でリユース部品中に含有もしくは資源としてリサイクル（精錬）されていた。一方で、2040 年には、より次世代車特有部品の寄与が増大すると推定され、たとえば電子基板では回収可能量 1.9–2.5t のうち 41% を次世代車特有部品が占めた。また、解体段階での部品回収率を高めることで、2040 年には最大 62–83% の貴金属が回収可能と推定された。

以上、本論文は、次世代自動車の影響を踏まえた使用済自動車の有用資源の回収ポテンシャルに関して論じており、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、令和元年 6 月 21 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。